

# Fire Detection Method Using IoT and Wireless Sensor Network

Jung Kyu Park\*, Young Hwa Roh\*\*, Ki hun Nam\*\*\*, Hyung Yoon Seo\*

## Abstract

A wireless sensor network (WSN) consists of several sensor nodes and usually one base station. In this paper, we propose a method to monitor topics using a wireless sensor network. Fire threatens people, animals, and plants, and it takes a lot of recovery time when a fire occurs. For this reason, it is necessary to use a fire monitoring system that is easy to configure and fast to avoid fire. In this paper, we propose a fast and easily reliable fire detection system using WSN. The wireless node of the WSN measures the temperature and brightness around the node. The measured information is transferred to the workstation and to the base station. The workstation analyzes current and historical data records to monitor the fire and notify the manager.

▶ Keyword: Arduino, Fire Detection, IoT, Sensor, Wireless Sensor Network

## I. Introduction

ICT 기술이 발전됨에 따라 다중 무선 센서 네트워크 (Wireless Sensor Network, WSN)의 기술은 많은 실시간 어플리케이션에서 널리 활용되고 있다. WSN에서 소형 센서 노드는 주변의 환경 정보를 감지, 처리 및 통신이 가능하다. 대부분의 무선 센서 노드는 주변 환경의 온도, 빛, 가스, 소리, 진동, 실시간 영상 정보를 취득한다 [1].

2011년 3월에는 태평양 해역의 지진으로 인해 후쿠시마 원전이 폭발하여 원자로에서 방사능이 누출되었다. 후쿠시마 원전 내부는 이런 자연재해를 대비할 수 있게 설계되었지만 발전소 내부를 감시하는 센서 장비의 배터리가 침수되어 센서의 기능을 상실하였다. 이로 원자로에서 방사능이 누출되는 사고가 발생하였다. 또한 2019년 4월에는 강원도 고성 및 속초에서 대형 산불이 발생하였다. 이번 산불로 인명피해와 많은 재산 손실이 발생하였다. 이런 문제를 해결하기 위해 WSN과 IoT를 활용하는 화재 감지가 이슈가 되고 있다.

최근에 건설되는 빌딩은 에너지 법령에 의해 기본으로 WSN 도입하여 에너지 절감과 화재 감지/초기 대응 목적으로 사용하

고 있다. 또한 폭발, 유독가스, 붕괴 환경에서 효과적으로 화재를 분석하고 진압하기 위해 WSN을 많이 사용되고 있다 [2].

앞의 예와 같이 언제 어디서나 화재가 발생하고 있다. 유선 센서는 산과 같이 넓고 먼 지역에 쉽게 구현 할 수 없다. 유선 센서를 넓은 지역에 설치하고 유지 보수하는 것은 매우 어렵고 비용 소모가 크다. 또한 여러 이유로 단선이 되면 통신은 완전히 두절된다. 그러나 WSN은 메쉬 네트워크를 사용하여 무선 센서 노드 중 하나가 손상 되어도 통신을 할 수 있으며 유선이 비해서 쉽게 설치 및 유지 보수가 가능하다 [3].

WSN에서 수집된 데이터의 양은 노드의 수에 비례하며 실제 상황에서 엄청나게 많아지게 된다. 따라서 워크스테이션에서는 이 데이터를 효율적으로 취합하는 것이 매우 중요하다. 기존 연구에서는 한 종류의 센서를 사용하여 화재 감지를 수행하고 있다. 본 연구에서는 무선 센서 네트워크에서 여러 종류의 센서 노드 데이터를 조합하는 방법을 설명한다. 또한 논문에서 개발된 프로그램은 WSN의 데이터 분석을 통해서 화재를 감지한다. 논문은 다음과 같이 구성한다. 2장에서는 관련 연구를 소

• First Author: Jung Kyu Park, Corresponding Author: Hyung Yoon Seo

\*Jung Kyu Park (jkpark@cs.ac.kr), Dept. of Computer Software Engineering, Changshin University

\*\*Young Hwa Roh (yhroh@cs.ac.kr), Dept. of Aeronautical & Mechanical Engineering, Changshin University

\*\*\*Kihun Nam (khnams@cs.ac.kr), Dept. of Fire and Disaster Prevention Engineering, Changshin University

\*Hyung Yoon Seo (hyseo@korea.ac.kr), Dept. of Computer Software Engineering, Changshin University

• Received: 2019. 07. 10, Revised: 2019. 08. 19, Accepted: 2019. 08. 21.

• This work was supported by Changshin University Research Fund of 2019(Changshin 2019-44).

개하고, 3장에서는 화재 감시를 설명한다. 4장에서는 실험 결과에 대해서 설명한다. 마지막 5장에서는 결론을 맺는다.

## II. Related Works

### 1. Method for Smoke Detection

화재 감지하는 기술은 많은 연구가 이루어졌다. 연구별로 특정 환경에 적용했을 때 장, 단점이 존재한다 [4, 5]. 연구 별로 보면 좁은 영역에 적합한 경우와 대형 빌딩에 적합한 경우가 있다. 연기 감지는 특정 영역에서 사용할 수 있는 방법으로 화재 감지의 가장 일반적인 유형입니다. 연기 감지 센서는 일반적으로 건물 내부 천정이라 벽에 고정된 형태로 장착되어 특정 영역의 연기를 감지합니다. 연기는 화재 발생 초기 단계에서 발생하기 때문에 센서를 사용한 연기 감지는 작은 영역 또는 낮은 천장의 건물 환경에서 조기 알람을 통보한다. 그러나 작은 화재에서 발생하는 연기는 화재 초기에만 조금 발생하기 때문에 넓은 공간의 벽 또는 천정에 장착된 센서에서 연기가 검출이 안 된다.

연기 감지는 센서 뿐만 아니라 많이 사용하는 보안 비디오 카메라가 많이 사용된다. 비디오 이미지 감지 (Video Image Detection) 시스템은 카메라 영상을 분석하여 연기와 불꽃을 감지한다 [5]. 대형 건물에서는 모든 영역을 감지하기 위해서 많은 센서를 사용해야 하는 반면에 VID를 사용하면 더 적은 갯수로 더 넓은 공간을 감지한다. 그러나 VID를 사용하기 위해서는 장애물 또는 벽에 카메라 감지 영역이 가리지 않도록 배치할 필요가 있다. 또한 VID를 사용하여 감지 영역에서 연기를 감지하기 위해서는 적절한 밝기가 유지되어야 한다.

### 2. Method for Heat Detection

열 감지 (HD)는 창고와 같은 특정 영역을 감지하는 목적으로 사용된다 [6, 7]. 열 감지기에서 열을 감지하기 위해서는 아주 높은 열이 필요하기 때문에 연기 감지와 같이 초기에 경보를 제공할 수 없다. 열 감지 센서는 현재 온도 또는 온도 상승률을 측정하고 미리 지정된 임계 값에 도달하면 열 감지로 확인한다. 여기서 온도 임계 값이 너무 낮게 설정되면 경보가 너무 빨리 울린다. 이렇게 되면 잘못된 경보 비율이 높아지게 된다. 반대로 온도 임계 값을 너무 높게 설정하면 화재 발생시 경보가 늦게 울리게 되어 화재 조치가 늦어지게 된다. 이런 이유로 환경에 따라 적절한 임계값 설정이 중요한 것을 알 수 있다.

열 감지 센서는 벽 또는 랙에 장착되어 스팟을 감지하는 형태로 제공된다 [8]. 이 센서는 화재시 물을 뿌려주는 자동 스프링클러 시스템에 같이 사용된다. 또 다른 예로 선형 열 감지 센서를 들 수 있다. 선형 열 감지는 케이블 또는 튜브의 열을 측정할 때 사용한다. 선형 열 감지기는 다양한 형태로 배치되어 운영할 수 있으며 유지 관리비가 적게 드는 장점이 있다.

### 3. Method for Flame Detection

불꽃 감지는 크게 2가지 방법으로 사용된다. 첫 번째는 열 감지에서 설명한 VID를 사용하는 것이다 [4, 5]. 카메라를 사용하여 영상을 취득하고 이를 분석하여 불꽃을 감지하는 방법이다. 두 번째는 광 감지 센서를 사용하여 화염에 의해 방출되는 복사 에너지를 측정하는 것이다 [9-11]. 이 센서는 화재에서 발생하는 특정한 파장을 검출하게 사용된다. 이 방법은 화재에서만 발생하는 불의 파장 만을 감지하기 때문에 잘못된 거짓 경보를 줄이게 된다. 광 감지 센서는 넓은 지역을 감지하기 위해서 사용되고 있다. 그러나 센서는 화재가 정면에 있을 때만 인식하기 때문에 센서를 적절히 겹쳐 배치하는 것이 필요하다. 또한 센서가 화재를 정확히 감지할 수 있도록 주기적으로 청소가 필요하다.

### 4. Proposed Method

기존에 화재감지 관련 연구들은 하나의 센서 사용하는 경우가 대부분이었다. 하나의 센서를 여러 개를 배포하고 특정 시간에 데이터만 분석하여 화재감지를 수행하였다. 본 연구에서는 한 종류의 센서가 아니라 여러 종류의 센서를 배포하여 데이터를 취합하는 것을 제안한다. 다른 종류의 센서 데이터를 조합하여 화재감지를 정확히 하고자 하였다. 또한 모든 센서 특정시간의 데이터만 사용하는 것이 아니라 일정 시간의 데이터와 경계 값을 사용하여 화재의 추이를 파악하고 화재 감지의 오류를 줄이고자 하였다.

## III. WSN and Fire Detection

무선 센서 네트워크는 베이스 스테이션과 센서 노드의 네트워크로 구성되어 사용된다. 센서 노드는 센서 주변 환경의 정보를 취득하고 이 정보를 무선 통신을 통해 데이터를 주고 받는다. 무선 센서 데이터는 같은 지역 내에서 전달 될 수 있고 다중 홉 릴레이를 사용하여 다른 네트워크와 통신한다. 그림 1은 WSN을 사용한 화재 감지를 표시하고 있다.

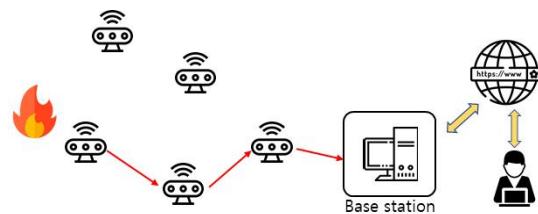


Fig. 1. Fire Detection using WSN

### 1. WPAN Standard

무선 통신에서 짧은 거리 내에 데이터를 전송할 때는 무선 개인 영역 네트워크 (WPAN)이 많이 사용된다. 많이 사용되는

무선 근거리 통신망 (WLAN)은 통신을 위한 기반 시설이 필요하지만 WPAN은 기반 시설이 거의 필요하지 않다. WPAN은 작고 성능이 좋고 저렴한 특징을 가지고 있어 많은 장치에서 사용되고 있다.

현재 시장에는 블루투스, IrDA, 지그비 (ZigBee) 와 같은 상용 WPAN 제품이 판매되고 있으며 현장에서 사용되고 있습니다. 이 제품들은 단거리 내의 개인 장치를 연결할 때 사용될 수 있으며 IEEE 802.15 표준을 사용하고 있다. 논문의 실험에서 사용한 블루투스는 IEEE 802.15.4 표준 또는 저속 무선개인 영역 네트워크 (LR-WPAN)를 기반으로 하고 있다. 이 표준은 LR-WPAN로 구분되는 무선 센서 노드의 물리 계층과 데이터 링크 계층을 정의하기 위해서 개발되었다. LR-WPAN과 일반 WPAN의 가장 큰 차이점은 LR-WPAN이 단거리 작동, 저속 데이터 전송, 저비용, 초 저전력, 기반 시설이 없는 상태에서 단순하고 유동적인 설치를 목표로 하고 있다는 것이다.

센서 네트워크는 각자 기능을 가지는 3개의 레이어로 나눌 수 있다. 각 레이어는 물리계층, 매체 접근 제어 (Media Access Control, MAC) 계층, 상위 계층으로 나누어 관리된다. 그림 2는 LR-WPAN 센서 네트워크의 레이어를 표시하고 있다.

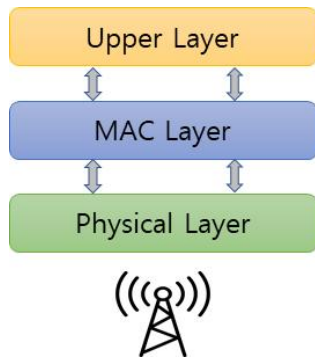


Fig. 2. Structure of WSN Layers

## 2. Fire Detection Algorithm

본 논문에서는 기존 화재 연구를 기반으로 화재를 감지하기 위해 센서 노드를 이용 하였으며 2가지 화재 조건을 정의하였다 [11]. 첫 번째 조건은 빛 파장의 급격한 변화이다. 두 번째는 조건은 온도의 급격한 변화이다. 이 조건에 따라서 3가지 종류의 경고를 설정하였다. 1번은 앞의 2가지 조건을 만족하는 경우로 긴급 화재 경고(On Fire Alarm)를 표시한다. 2번은 첫 번째 조건만 만족하는 경우로 조도 변화와 관련 있는 경우이다. 이 경우에는 불꽃 경고(Flame Warning)를 통보한다. 3번은 두 번째 조건만 만족하는 경우로 온도 변화가 있는 경우이다. 이 경우 온도 경고(Temperature Warning) 통보한다. 그림 3은 알고리즘의 동작을 표현하고 있다.

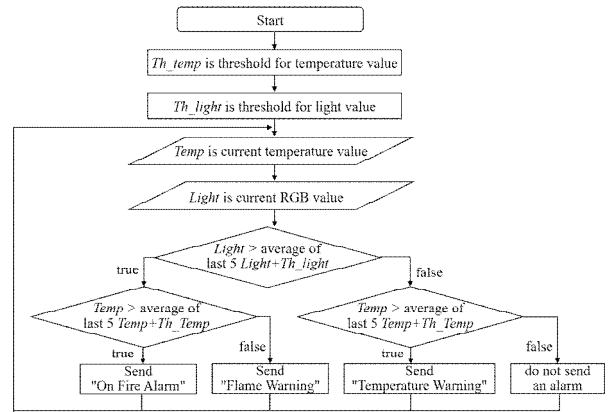


Fig. 3. Fire Detection Algorithm

## IV. Experiments and Results

### 1. Environment of Experiments

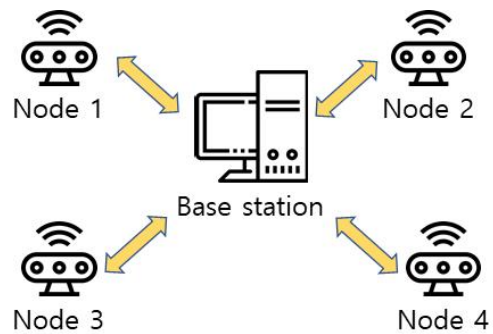
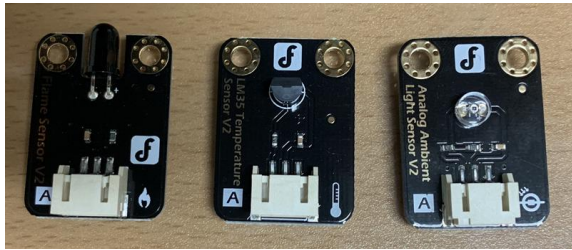


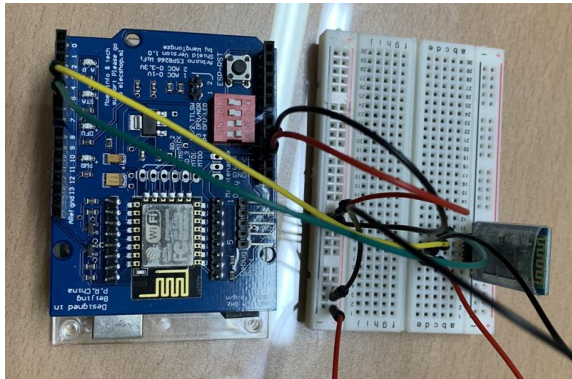
Fig. 4. Structure of WSN Layers

전체 구성은 그림 4과 같이 스타 형태의 토폴로지를 구성하였고 각 노드는 주변의 환경 정보를 측정하여 베이스 스테이션으로 주기적으로 전송하였다. 베이스 스테이션은 워크스테이션에 연결되어 있으며 노드로부터 전송된 데이터를 분석하여 경고를 알리도록 하였다.

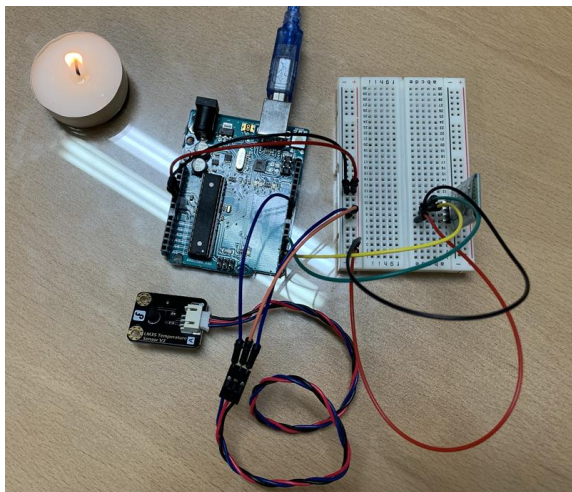
논문에서 제안하는 알고리즘을 검증하기 위해서 아두이노 임베디드 보드와 다양한 센서를 사용하였다 [12, 13]. 그림 5(a)에서는 실험에서 사용된 화염, 온도, 밝기 센서를 보여주고 있다. 이번 실험에서는 화염 센서는 사용하지 않았다. 그림 5(b)는 WiFi모듈과 블루투스로 구성된 베이스 스테이션을 보여주고 있다. 베이스 스테이션에서는 WiFi 모듈을 사용하고 있으며 이를 통해 외부에서 바로 제어 및 모니터링이 가능하도록 하였다. 블루투스 모듈을 통해서 외부 노드의 데이터를 수신할 수 있도록 하였다. 그림 5(c)는 밝기 센서가 장착된 노드의 예를 보여주고 있다. 센서 노드는 총 4개로 구성하였으며 각 노드에는 온도 센서와 밝기 센서를 장착하였다.



a) Flame, Temperature, Light Sensors



b) Base Station using WiFi and Bluetooth module



c) Configuration of Sensor Node

Fig. 5. Setup for Experiments

## 2. Results

실험 환경은 그림 5와 같이 구성하였고 각 노드는 주변의 환경 정보를 측정하여 베이스 스테이션으로 주기적으로 전송하였다. 각 센서 노드는 10초 마다 현재 위치의 온도와 조도를 측정하여 워크스테이션에 장착되어 있는 베이스 스테이션으로 전송하도록 설정하였다. 워크스테이션에서는 각 센서별로 저장된 데이터를 기반으로 최근 5개의 온도 평균을 구한다. 그 이후 새로운 온도 값이 전송되면 미리 계산된 평균값과 비교한다. 비교한 온도의 값의 차가 경계값 보다 클 경우에는 화재가 있음을 가정다. 이 방법은 조도 센서의 값 비교에서도 똑 같이 적용된다. 실험에는 10초 주기로 데이터를 전송해 했지만 센서의 특성과 사용 환경을 고려하여 주기를 변경 가능하다.

실험에는 3장에서 설명한 화재 감지 알고리즘을 증명하기 위해 크게 3가지로 나누어 실험하였다. 첫 번째로 3.2에서 설명한 두 조건이 만족되는지 확인한다. 두 조건은 현재 온도 값과 온도의 평균 값의 차가 온도의 경계값과 평균의 합 보다 같거나 크고, 현재 조도 값과 조도의 평균 값의 차가 온도의 경계값과 평균의 합 보다 같거나 크면 화재가 발생했을 확률이 높기 때문에 화재 경고(On Fire Alarm)를 관리자에게 통보한다 [11]. 그림 6에서 시간 50을 보면 조도와 온도 모두 평균값과 경계값의 합이 범위를 넘는 것을 보여주고 있다. 이 상황을 화재 경보로 판정하였다.

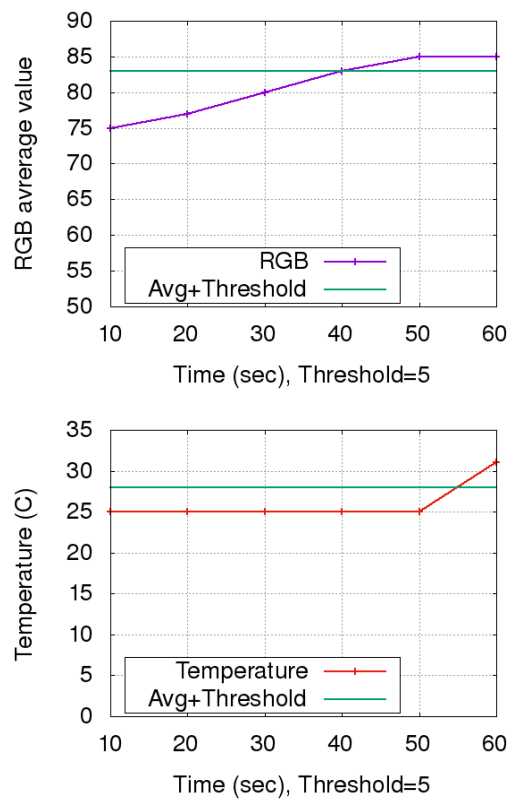


Fig. 6. Result of "On Fire Alarm" (RGB value and Temperature value)

두 번째로 3.2에서 설명한 조도와 온도 두 조건 중에 하나를 만족하는 경우로 두 조건이 만족하는 경우에 비해서 화재 가능성이 낮다. 이번 실험에서는 조도가 만족되는 경우로 값자기 촛불을 켜서 조도의 변화를 확인하였다. 이 실험의 결과는 그림 7에서 보여주고 있다. 그림 6에서 조도를 확인하면 40초 이후에 평균값과 경계값의 합이 범위를 넘는 것을 표시하고 있다. 그러나 온도 값은 변화가 없음을 알 수 있고 이는 화재의 경우가 낮다고 판단하여 불꽃 경고(Flame Warning)를 관리자에게 통보한다.



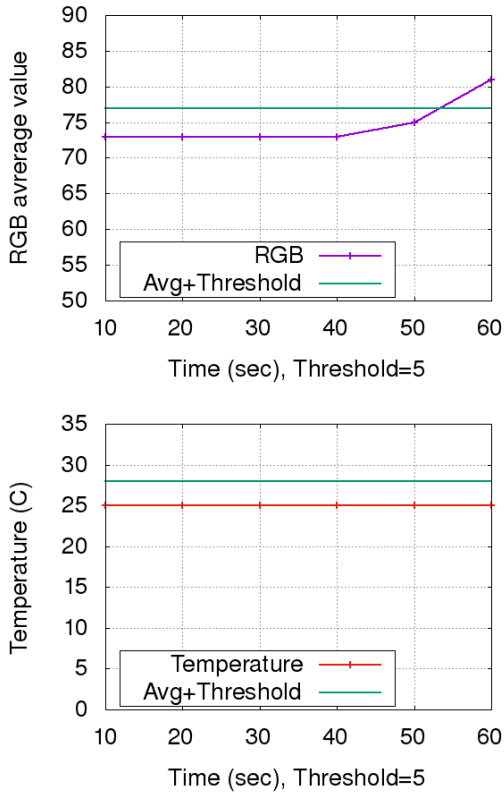


Fig. 7. Result of Flame Warning (RGB value and Temperature value)

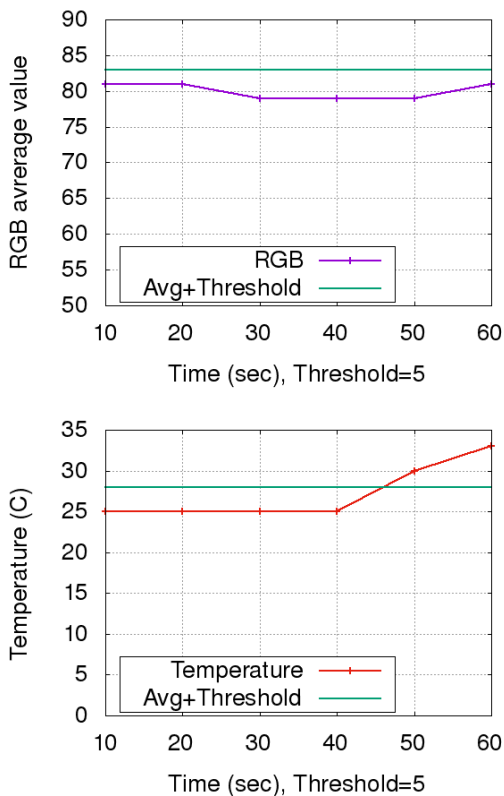


Fig. 8. Result of Temperature Warning (RGB value and Temperature value)

마지막 세 번째 경우는 조도의 변화가 없고 (실제로는 평균 값이 평균값과 경계값의 합 보다 낮아 변화가 없음으로 판정) 온도의 값만 변화가 있는 경우이다. 그림 8에서 45초의 시간대를 보면 조도의 변화는 없고 온도만 급 상승하고 있다. 온도의 값이 올라가는 것은 화재로 인해 발생할 수 있고 또는 자연광으로 인해 발생할 수 있다. 이 경우에도 화재가 발생할 수 있기 때문에 온도 경고(Temperature Warning)를 관리자에게 통보한다.

실험 결과를 요약하면 다음과 같다. “화재 경고”는 우선 순위가 가장 높기 때문에 즉각 화재에 대한 조치를 취해야 한다. “불꽃 경고”는 화재 경보에 비해서 우선 순위가 낮기 때문에 온도 변화가 있는지 주의 깊게 살펴봐야 한다. 온도가 올라가지 않고 조도 변화만 있는 경우는 자연광이나 전등과 같은 외부 광원에 의한 변화임을 알 수 있다. “온도 경고”는 “화재 경고”보다 우선 순위가 낮고 “불꽃 경고” 보다는 우선 순위가 높다. 조도의 변화 보다 온도가 급격히 상승할 경우 화재가 발생하는 확률이 높기 때문이다.

### V. Conclusions

본 논문에서는 WSN과 센서를 이용하여 화재를 감시하는 방법을 제안하고 실험을 통해서 사용 가능성을 보여 주었다. 기존의 연구와 다르게 두 개의 센서를 조합을 조합하여 화재를 감시하는 방법을 제안하였다. 제안하는 방법을 사용하여 위험한 화재 현장을 감지하여 빠른 화재 진압을 할 수 있고 이로 인해 인명 및 재산 보호가 가능하다. 또한, 화재 감지 알고리즘은 WSN으로 취득한 과거 데이터를 이용하여 화재를 예측하는 모델을 제시하고 있다. 실험 결과에 따르면 2개의 센서의 값과 화재 발생 감지 알고리즘을 사용하여 화재 발생의 시작 시점을 찾을 수 있었다. 이 결과를 이용하면 화재 방지에 많은 도움이 될 수 있을 것이다.

본 연구에서는 2개의 센서 값을 혼합하여 화재 감지를 진행하였다. 차후에는 다양한 추가 센서를 추가하여 화재 감지 예측 모델 정확성을 개선할 예정이다. 또한 센서 노드의 에너지 효율성과 신뢰성있는 연결성을 고려하는 WSN의 설계에 대해서 계속 연구를 진행할 예정이다.

### REFERENCES

[1] S. R. Vijayalakshmi, and S. Muruganand, "A survey of Internet of Things in fire detection and fire industries," Proceedings of the International Conference on I-SMAC (IoT in Social, Mobile, Analytics and Cloud) (I-SMAC),

- pp. 703–707, 2017.
- [2] B. Kadri, B. Bouyeddou, and D. Moussaoui, "Early Fire Detection System Using Wireless Sensor Networks," Proceedings of the International Conference on Applied Smart Systems (ICASS), pp. 1–4, 2018.
- [3] P. K. Singh, and A. Sharma, "An insight to forest fire detection techniques using wireless sensor networks," Proceedings of the 4th International Conference on Signal Processing, Computing and Control (ISPC), pp. 647–653, 2017.
- [4] M. Toptaş, and D. Hanbay, "Smoke detection using texture and color analysis in videos," Proceedings of the International Artificial Intelligence and Data Processing Symposium (IDAP), pp. 1–4, 2017.
- [5] D. Shon, C. Kim, J. Kim, "Implementation and Performance Evaluation of a Video-Equipped Real-Time Fire Detection Method at Different Resolutions using a GPU," Journal of The Korea Society of Computer and Information, Vol. 20, No. 1, pp. 1–10, Nov. 2015.
- [6] Y. Xu, X. Wang, Y. Zhong and L. Zhang, "Thermal anomaly detection based on saliency computation for district heating system," Proceedings of the IEEE International Geoscience and Remote Sensing Symposium (IGARSS), pp. 681–684, 2016.
- [7] Y. Osawa, and S. Katsura, "Sensing of heat source in deep layer using heat flow," Proceedings of the 56th Annual Conference of the Society of Instrument and Control Engineers of Japan (SICE), pp. 416–419, 2017.
- [8] G. Keshavaditya, G. R. Eranna, and G. Eranna, "PRT Embedded Microheaters for Optimum Temperature Distribution of Air-Suspended Structures for Gas Sensor Applications," IEEE Sensors Journal, Vol. 15, No. 7, pp. 4137–4140, July. 2015.
- [9] G. Wang, C. Hughes, S. Park, X. Ma and H. J. Cho, "ZnO nanoparticle-based optical sensors fabricated by high current density electrodeposition and flame oxidation," Proceedings of the IEEE Sensors, pp. 1–3, 2016.
- [10] Y. Liu, W. Wu, Z. Wu, and Z. Zhou, "Fire Detection in Radiant Energy Domain for Video Surveillance," Proceedings of the International Conference on Virtual Reality and Visualization (ICVRV), pp. 1–8, 2015.
- [11] W. Yuanbin and M. Xianmin, "Early Fire Detection for High Space Based on Video-Image Processing," Proceedings of the International Symposium on Computer, Consumer and Control, pp. 785–788, 2014.
- [12] N. Savitha, and S. Malathi, "A Survey on Fire Safety Measures for Industry Safety Using IOT," Proceedings of the 3rd International Conference on Communication and Electronics Systems (ICES), pp. 1199–1205, 2018.
- [13] Arduino, <https://www.arduino.cc/>

## Authors



Jung Kyu Park received the M.S. and Ph.D. degrees in computer engineering from Hongik University in 2002 and 2013, respectively. He has been a research professor at the Dankook University since 2014. From 2016 to 2017, he was a

visiting professor at Department of Digital Media Design and Applications, Seoul Women's University. In 2018, he joined the assistant professor of Department of Computer Software Engineering, Changshin University. His research interests include operating system, new memory, embedded system and robotics theory and its application.



Young Hwa Roh received the B.S., M.S. and Ph.D. degrees in Mechanical Design & Manufacturing Engineering from Changwon National University, Korea, in 2006, 2008 and 2018, respectively. Dr. Roh joined the Research & Development Center

at NEXEN Tire, Gyeongnam, Korea, in 2007. He is currently a Professor in the Department of Aeronautical & Engineering, Changshin University. He is interested in Computer Aided Design(CAD), Computer Aided Manufacturing(CAM) and machine tool and Metal 3D printing.



Ki Hun Nam received his M.S. degrees in Safety Engineering and Ph.D. degrees in Disaster & Emergency management from Inje University, Korea in 2008 and 2014, respectively. He is a Professor in the Department of Fire & Disaster Prevention

Engineering at Changshin University, in which he has taught 2016. His interesting subject and area of research and education is crisis and emergency management and fire safety.



Hyung Yoon Seo received the M.S. and Ph.D. degrees in Computer Science and Engineering from Pusan National University, Korea, in 2011 and 2016, respectively. Dr. Seo joined the faculty of the Department of Computer Software

Engineering at Changshin University, Changwon, Korea, in 2016. He is currently a Professor in the Department of Computer Software Engineering, Changshin University. He is interested in mobile communication systems, MAC and routing protocols from mobile wireless networks, IoT, and All-IP-based network convergence.